

METALNI MOSTOVI

Spregnuti mostovi

Sadržaj

1. Osnove za projektiranje, proračun i dimenzioniranje
2. Građiva
3. Granična stanja nosivosti (GSN)
4. Granična stanja uporabe (GSU)
5. Osiguranje sprezanja
6. Spregnute betonske ploče
7. Kolničke ploče s predgotovljenim dijelovima
8. Pravila projektiranja za rasponske sklopove cestovnih mostova sa glavnim nosačima na malom razmaku i/ili betonskim poprečnim nosačima nad osloncima

1. Osnove za projektiranje, proračun i dimenzioniranje

GSN

- gubitak ravnoteže konstrukcije ili nekog njenog dijela
- otkazivanje uslijed velikih deformacija, izazvanih slomom ili gubitkom stabilnosti konstrukcije ili nekog njenog dijela, otkazivanjem sredstava za sprezanje, ležajeva ili temelja
- Otkazivanje uslijed umornosti

GSU

- deformacije i progibi, koji imaju negativni utjecaj na uporabu konstrukcije ili prouzrokuju oštećenja na nenosivim konstrukcijskim dijelovima
- vibracije, koje izazivaju nelagodu ljudi ili oštećenja na konstrukciji ili ograničavaju funkcioniranje konstrukcije
- pukotine u betonu, koje nepovoljno djeluju na trajnost i nepropusnost
- oštećenje betona uslijed prekomjernih tlačnih naprezanja, koje mogu dovesti do smanjenja trajnosti
- popuštanje u spoju za sprezanje
- prekomjerno puzanje i pojava mikropukotina kao i nereverzibilno (nepovratno) ponašanje konstrukcije uslijed prekomjernih naprezanja

Koncept sigurnosti i mjerodavna stanja nosivosti i uporabivosti:

GRANIČNO STANJE NOSIVOSTI

$$E_d \leq R_d$$

$$R_d = R \left[\frac{f_{yk}}{\gamma_s}, \frac{\alpha_s f_{ck}}{\gamma_c}, \frac{f_{sk}}{\gamma_s}, \frac{P_{Rk}}{\gamma_v} \right]$$

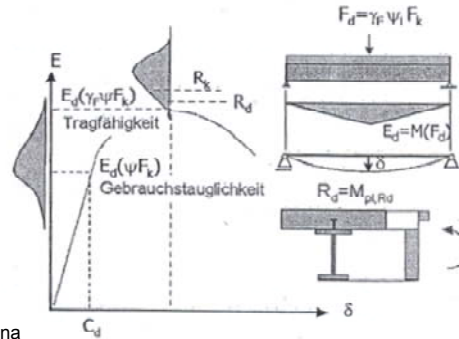
$$E_d = E (\gamma_F \psi F_k)$$

GRANIČNO STANJE UPORABE

$$E_d \leq C_d$$

$$E_d = E (\psi F_k)$$

C_d - zadani uvjeti (progibi, širina pukotina)



Mjerodavna kombinacija djelovanja za GSN.

$$S_d = \sum \gamma_{Gj} \cdot G_{kj} + \gamma_{Pj} \cdot P_k + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \sum_{i=2}^n \psi_{0i} \cdot \gamma_{Qi} \cdot Q_{ki}$$

Parcijalni faktori sigurnosti odnosno koeficijenti kombinacije za djelovanja cestovnih mostova

DJELOVANJE	PARCIJALNI KOEFICIJENTI SIGURNOSTI		KOMBINACIJSKI KOEFICIENT ψ_{0i}
	POVOLJNO	NEPOVOLJNO	
STALNO DJELOVANJE γ_G	1.0	1.35	-
PROMET γ_Q	-	1.50	VOZILA: 0.75 KONTINUIRANO: 0.40
PLANSKI UNESENE DEFORMACIJE γ_F	1.0	1.10 1.0 - kod prednapinjanja	-
SKUPLJANJE γ_{Fk}	-	1.00	-
SLJEKANJE γ_{Fv}	-	1.00	-
TEMPERATURA γ_T	-	1.50	0.0 bzw. 0.8 *)
VJETAR γ_W	-	1.50	0.3 **)
HORIZONTALNI PRITISAK	-	1.50	
IZVANREDNO DJELOVANJE	-	1.00	

Grupe djelovanja za cestovne mostove

VRSTA OPTEREĆENJA	VERTIKALNO OPTEREĆENJE	HORIZONTALNA		VERT. OPT. ZA PIESACKE I BUKLISTIČKE MOSTOVE	NAPOMENE
Lastmodell	GLAVNO OPTER.	VUČNE I KOČNE SILE	CENTRIFUG. SILE	JEDNOLIKO OPTEREĆENJE	
GRUPA OPTEREĆENJA	gr1	KAR. VRIJEDNOST	0	0	SMANJENA VRIJEDNOST OD 2.5 kN/m ²
	gr2	ČESTA VRIJEDNOST	KAR. VRIJEDNOST	KAR. VRIJEDNOST	0
	gr3	0	0	0	KAR. VRIJEDNOST

Parcijalni koeficijenti sigurnosti na otpornost gradiva

KOMBINACIJE	KONSTRUKCIJSKI ČELIK	ARMATURA	BETON	MOZDANICI
	γ_s^*	γ_{Rd}	γ_s	γ_c
OSNOVNA	1.0	1.1	1.15	1.5
IZVANREDNA	1.0	1.0	1.0	1.3

- Spregnuti mostovi se u odnosu na dokaze graničnog stanja uporabljivosti svrstavaju u klase za osiguranje dovoljne trajnosti.
- Za cestovne i željezničke spregnute mostove bez prednapinjanja kabelima usvaja se kategorija D.

PROPISANA KLASA	KOMBINACIJE DJELOVANJA ZA DOKAZ	
	DEKOMPRESIJA	OGRANIČENJE PUKOTINA
A	nečesta	
B	česta	nečesta
C	quasi stalna	česta
D		česta
E		quasi stalna

➤ Za granično stanje uporabljivosti definiraju se sljedeće mjerodavne kombinacije djelovanja:

- rijetka kombinacija (50 godina): $S_d = \Sigma G_{kj} + P_k + Q_{k,1} + \Sigma \psi_{0,i} Q_{k,i}$

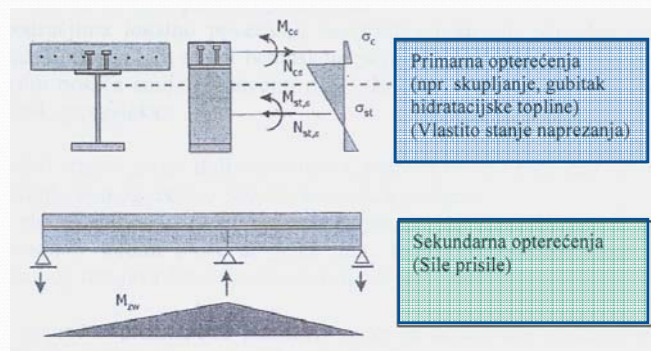
- ne-česta kombinacija (1 godina): $S_d = \Sigma G_{kj} + P_k + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \Sigma \psi_{1,i} Q_{k,i}$

- česta kombinacija (1 tjedan): $S_d = \Sigma G_{kj} + P_k + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \Sigma \psi_{2,i} Q_{k,i}$

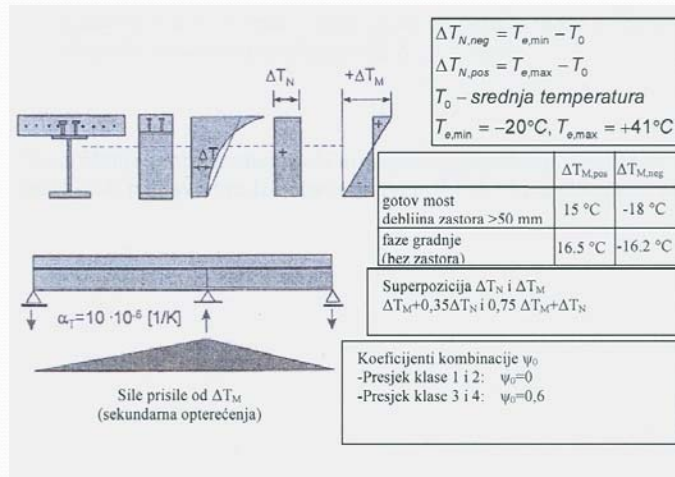
- quasi-stalna kombinacija (1 dan): $S_d = \Sigma G_{kj} + P_k + \Sigma \psi_{2,i} Q_{k,i}$

➤ Puzanje i skupljanje betona, kao i nelinearna promjena temperature u spregnutim presjecima izazivaju vlastita naprezanja i deformacije (rotacije i izduženja).

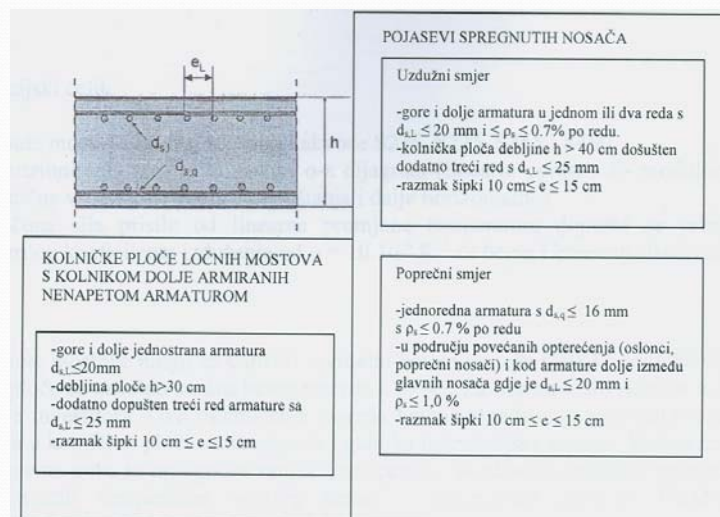
➤ Djelovanja pridružena tim utjecajima dijele se na indirektna i direktna.



➤ Temperaturna djelovanja za spregnute mostove



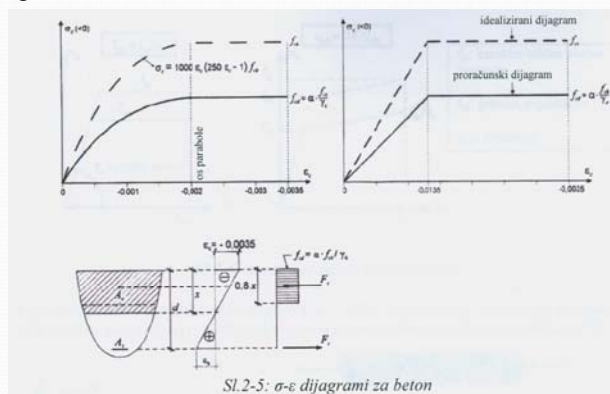
➤ Konstrukcijske odrednice za osiguranje trajnosti



2. Gradiva

- Konstrukcijski čelik
S235, S275, S355, S460
Kod dimenzioniranja rabi se bilinearni σ - ϵ dijagram
- Beton
C30/37-C50/60
C35/45 za kolničke ploče
Za σ - ϵ odnos može se koristiti parabolični ili pravokutni dijagram, odnosno pojednostavnjeno bilinearni dijagram.
Modul elastičnosti E_{cm} definiran je kod toga kao sekantni modul

- σ - ϵ dijagrami za beton

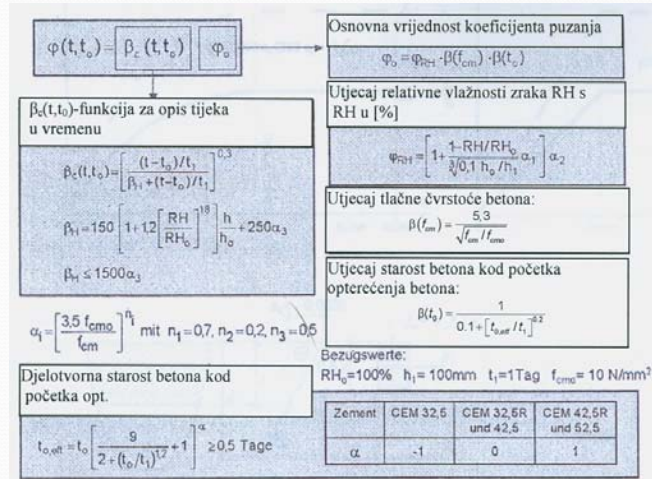


Sl.2-5: σ - ϵ dijagrami za beton

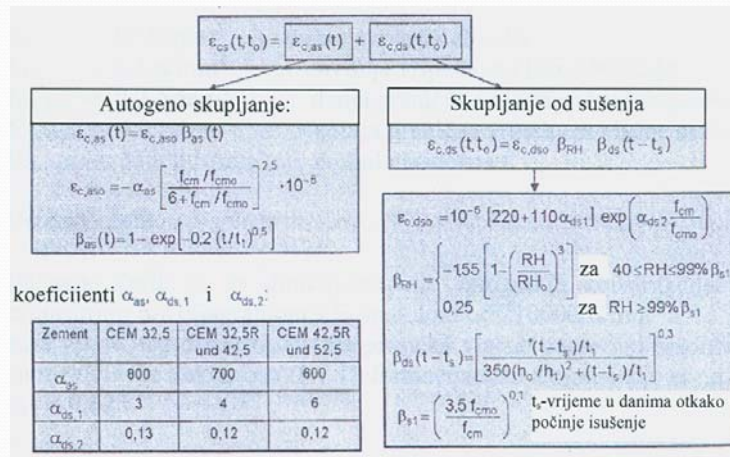
C35/45:

$f_{ck} = 35 \text{ N/mm}^2$ tlačna čvrstoća cilindra
 $f_{ctm} = 3,2 \text{ N/mm}^2$ srednja vrijednost vlačne čvrstoće
 $f_{ctk,5\%} = 2,2 \text{ N/mm}^2$ donja granična vrijednost vlačne čvrstoće
 $f_{ctk,95\%} = 4,2 \text{ N/mm}^2$ gornja granična vrijednost vlačne čvrstoće
 $E_{cm} = 33500 \text{ N/mm}^2$ modul elastičnosti

- Proračun koeficijenta puzanja

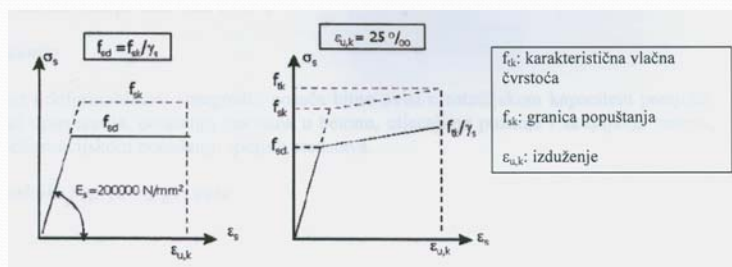


- Proračun koeficijenta skupljanja



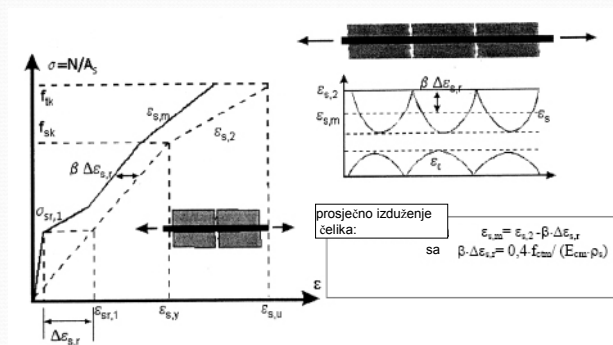
- Betonski čelik

σ - ϵ dijagrami za betonski čelik



Kod spregnutih konstrukcijskih dijelova sa vlačno naprezanim betonskim pojasima u više dokaza mora se uzeti u obzir utjecaj sudjelovanja betona između pukotina.

Kod spregnutih konstrukcijskih dijelova sa vlačno naprezanim betonskim pojasima u više dokaza mora se uzeti u obzir utjecaj sudjelovanja betona između pukotina.



Utjecaj sudjelovanja betona između pukotina

- Sredstva za sprezanje (moždanici)

Kao sredstva za sprezanje dopuštaju se samo čepasti moždanici do maksimalnog promjera od 25 mm.

Karakteristične vrijednosti nosivosti moždanika P_{Rk} i gradivo spojnih sredstava definirani su kao 5% fraktilne vrijednosti.

3. Granična stanja nosivosti (GSN)

3.1 Općenito

Nosivost i deformabilnost spregnutih nosača bitno ovisi o rotacijskom kapacitetu presjeka, povijesti opterećenja, otvaranju pukotina u betonu, utjecajima puzanja i skupljanja betona, kao i deformacijskom ponašanju spojnih sredstava.

3.2. Značajke poprečnog presjeka

3.2.1. Sudjelujuća širina spregnutih betonskih pojaseva za dokaz nosivosti

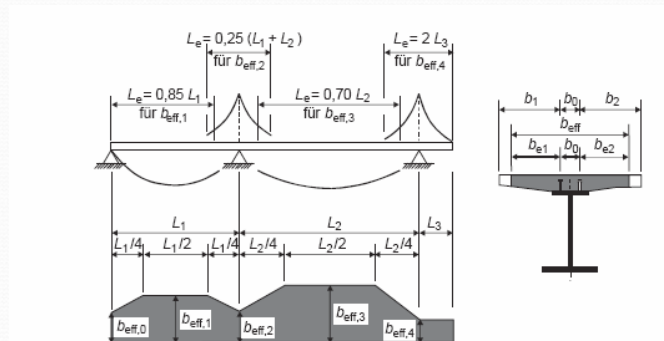
Za granično stanje nosivosti (GSN) i zamor sudjelujuća širina definirana je izrazom:

$$b_{eff} = b_0 + \sum b_{ei}$$

b_0 razmak vanjskih moždanika prema

$b_{ei} = L_e / 8 \leq b_i$ sudjelujuća širina sa svake strane hrpta

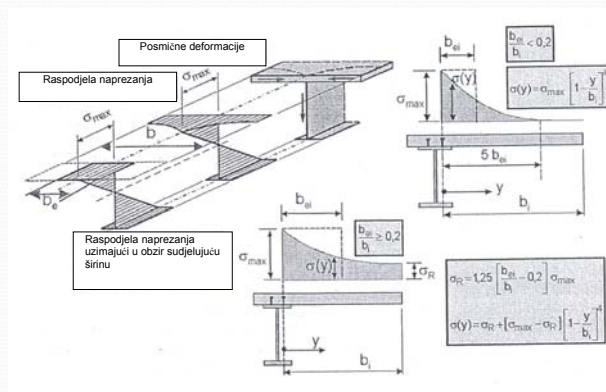
L_e približno razmak nul-točaka momenata savijanja



Sudjelujuća širina i ekvivalentni rasponi L_e

Sudjelujuća širina na krajnjim osloncima iznosi:

$$b_{eff,0} = b_0 + \sum \beta_i b_{ei} ; \quad \beta_i = (0,55 + 0,025 L_e / b_i) \leq 1,0$$



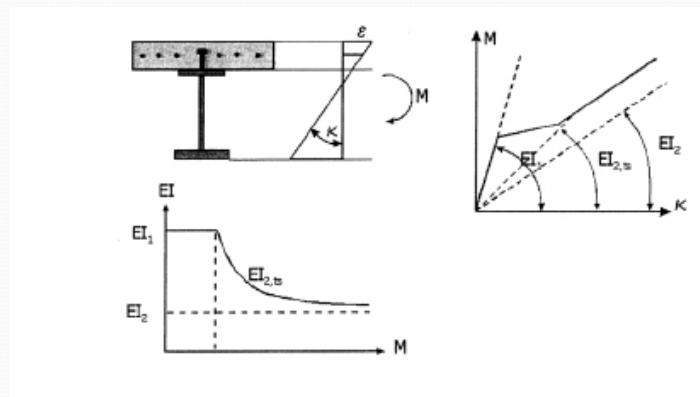
Sudjelujuća širina pojasa i raspodjela naprezanja u poprečnom smjeru pojasa

3.2.2. Krutost na savijanje

Krutost na savijanje spregnutog presjeka s betonskim pojasom u tlaku proračunava se klasičnim elastičnim proračunom cijelog spregnutog presjeka.

Krutosti na savijanje određene su kako slijedi:

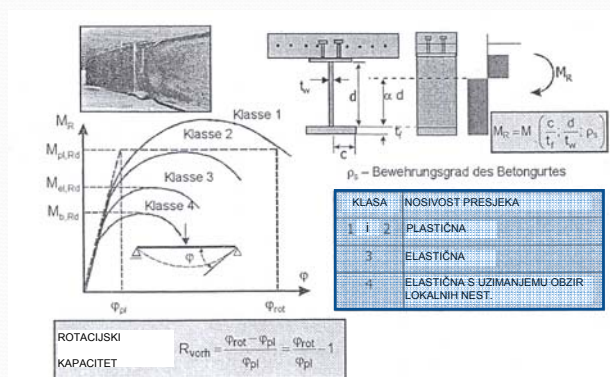
- $E_a I_1$: krutost na savijanje idealnog spregnutog presjeka uz pretpostavku da su vlačno naprezani betonski dijelovi neraspucani; kod toga se uzimaju u obzir faktori redukcije ovisni o vrsti opterećenja.
- $E_a I_2$: krutost na savijanje idealnog spregnutog presjeka bez uzimanja u obzir vlačno napreznog betonskog dijela; nenapeta armatura unutar sudjelujuće širine uzima se u obzir.
- $E_a I_{2,ts}$: krutost na savijanje idealnog spregnutog presjeka kao kod $E_a I_2$, ali uzimajući u obzir sudjelovanje betona između pukotina.



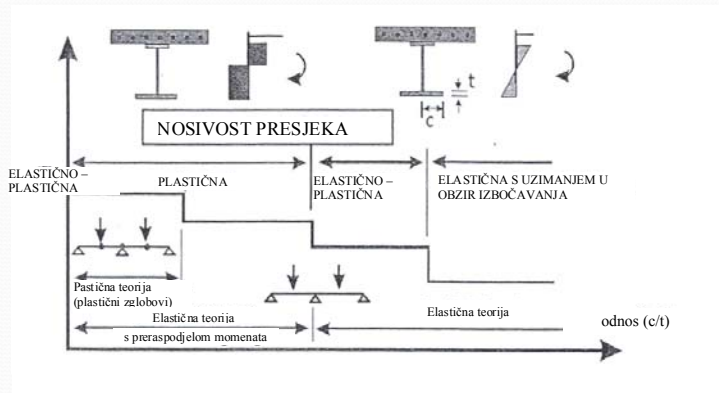
Definicija krutosti na savijanje

3.3. Podjela u klase (razrede)

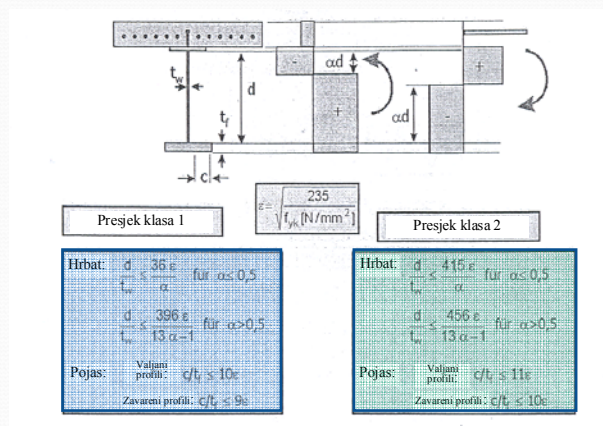
- Klasa 1:** Presjeci koji omogućuju plastične zglobove sa dovoljnim rotacijskim kapacitetom za plastični proračun sustava → teorija plastičnih zglobova (kod mostovskih sklopova se ne dopušta)
- Klasa 2:** Presjeci koji kod ograničenog rotacijskog kapaciteta razvijaju punu plastičnu nosivost presjeka. → Kod proračuna reznih sila smije se uzeti u obzir preraspodjela momenata uslijed pojave pukotina i djelomične plastifikacije prije nastajanja prvog plastičnog zgloba.
- Klasa 3:** Presjeci koji se na rubovima poprečnog presjeka mogu iskoristiti do granice popuštanja. Plastične rezerve ne postoje. → Moguća je preraspodjela u sustavu uslijed pojave pukotine i tečenja u vlačno napregnutim dijelovima čeličnog presjeka.
- Klasa 4:** Presjeci koji se moraju dokazati uzimajući u obzir lokalno izbočavanje, tj. Metodom elastičnosti s djelotvornim presjecima. → Do preraspodjele momenata u sustavu dolazi samo uslijed pojave pukotina.



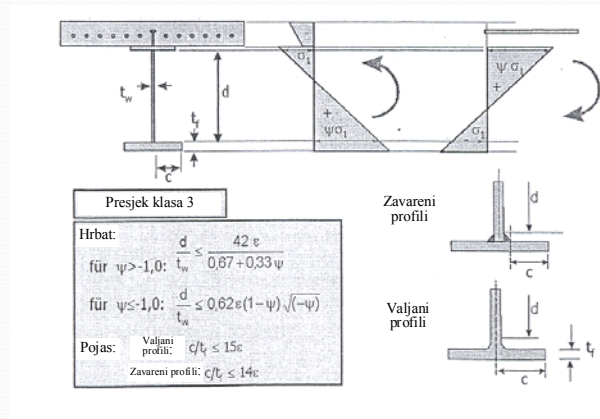
Klasifikacija presjeka i rotacijski kapacitet



Klasifikacija presjeka, nosivost presjeka i proračun unutarnjih sila

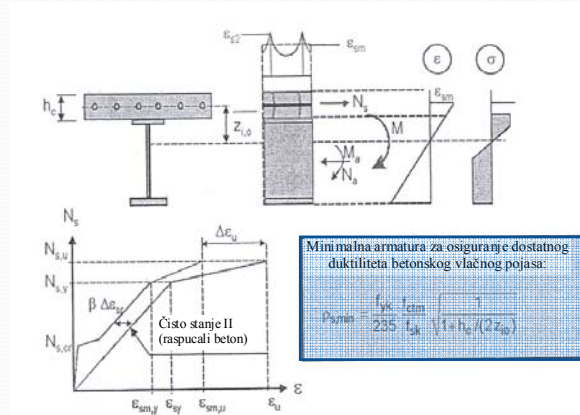


Klasifikacija presjeka



Klasifikacija presjeka

Eksperimentalno je utvrđeno da kod spregnutih nosača s malim postotkom armiranja armature odkazuje prije dostizanja punog momenta plastičnosti.



Armatura za duktilnost kod plastičnog dimenzioniranja u području negativnih momenata savijanja (vlačna zona)

Podjela jednog poprečnog presjeka u klase provodi prema najnepovoljnijoj klasi tlačno opterećenog dijela.

Za presjeke klase 1 i 2 s betonom u vlaku unutar sudjelujuće širine potrebno je predvidjeti minimalnu armature za osiguranje dostatne duktilnosti.

Minimalni koeficijent armiranja $\rho_{s,min}$ definiran je izrazom:

$$\rho_{s,min} = \frac{f_y}{235} \frac{f_{ctm}}{f_{sk}} \sqrt{K_c}$$

Gornji čelični pojas može se svrstati u klasu 1, ako je lokalno izbočavanje spriječeno sprežanjem s betonskom pločom.

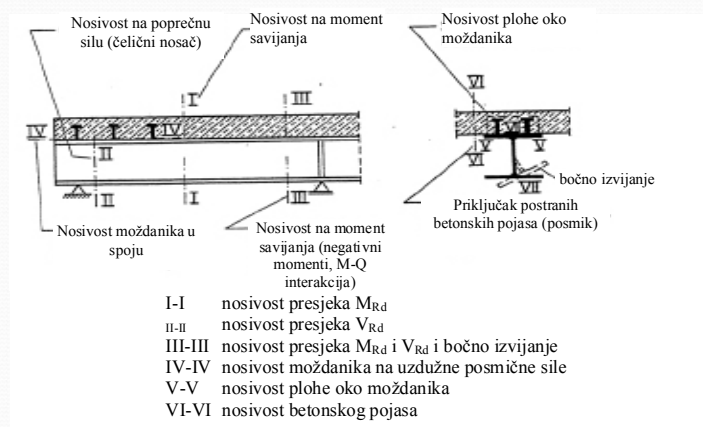
Kod presjeka klase 3 i 4 klasifikacija se određuje temeljem elastične raspodjele naprezanja.

Beton u vlaku i sudjelovanje betona između pukotina zanemaruje se.

Utjecaji od povijesti unosa opterećenja i puzanja i skupljanja imaju se uzeti u obzir.

Za spregnute mostove preporuča se uporaba klase 3 (ne i 4), zbog pojednostavnjenja provjere izbočavanja.

3.4 Nosivost presjeka



Presjeci za dokaz GSN

3.4.1. Savijanje

Otpornost presjeka smije se računati kao potpuno plastična ako su najmanji djelotvorni presjeci klase 1 i 2.

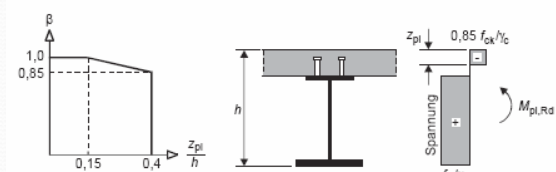
Elastični proračun dopušta se za sve klase presjeka.

3.4.1.1 Plastična otpornost – klase presjeka 1 i 2

Predpostavke za proračun plastičnog graničnog momenta $M_{pl,Rd}$:

- nema popuštanja između čelika, betona i armature.
- U čeličnom nosaču djeluju vlačna i tlačna naprezanja s proračunskom vrijednosti granice popuštanja f_y / γ_a .
- U armaturi unutar sudjelujuće širine djeluje vlak i tlak s proračunskom vrijednosti granice popuštanja f_{sk} / γ_s . Armatura se u tlačnoj zoni može zanemariti.

U tlačnoj zoni sudjelujuće širine betonskog presjeka između plastične neutralne linije i rubnih vlakana uzima se proračunska vrijednost tlačne čvrstoće $f_{cd} = 0,85 f_{ck} / \gamma_c$.



Faktor redukcije β , presjek i raspodjela naprezanja

$$M_{Rd} = \beta M_{pl,Rd}$$

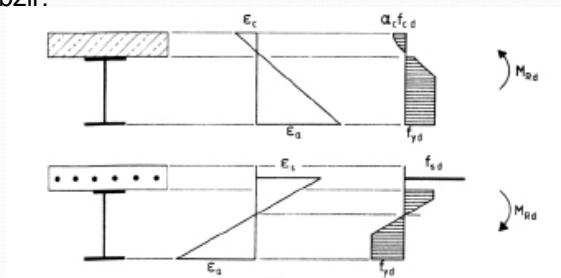
$$z_{pl}/h \leq 0,4$$

3.4.1.2 Otpornost na savijanje s ograničenim deformacijama – klasa 3

U rubnim vlakancima smiju se iskoristiti granična naprezanja (odgovara elastičnoj otpornosti presjeka).

Predpostavlja se da ukupni presjeci ostaju ravni i da postoji kruto sprezanje između betona i armature u vlačnoj i u tlačnoj zoni. Utjecaj sudjelovanja betona između pukotina može se zanemariti.

Utjecaj povijesti opterećenja i djelovanja puzanja i skupljanja imaju se uzeti u obzir.



Raspodjela naprezanja kod deformacijama ograničene otpornosti na savijanje

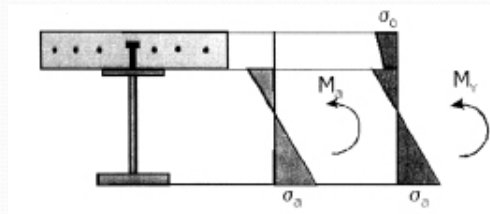
3.4.1.3 Elastična otpornost na savijanje

Kod proračuna elastičnog graničnog momenta $M_{el,Rd}$ moraju biti zadovoljena sljedeća granična naprezanja:

- $0,85 f_{ck} / \gamma_c$ za betonski pojas u tlaku
- f_y / γ_a za dijelove presjeka u vlaku i za tlačno napregnute presjeke klasa 1, 2 i 3
- f_{sk} / γ_s za betonski čelik u vlaku i tlaku. U tlaku se može zanemariti
- $f_{p0,1k} / \gamma_s$ za kabele za prednapinjanje. Pred-deformacija kabela uzima se u obzir

σ_{Rd} granično naprezanje za dijelove čeličnih nosača klase 4 u tlaku s $\gamma_{Rd} = 1,1$ postupak sukladno važećim propisima za čelične mostove

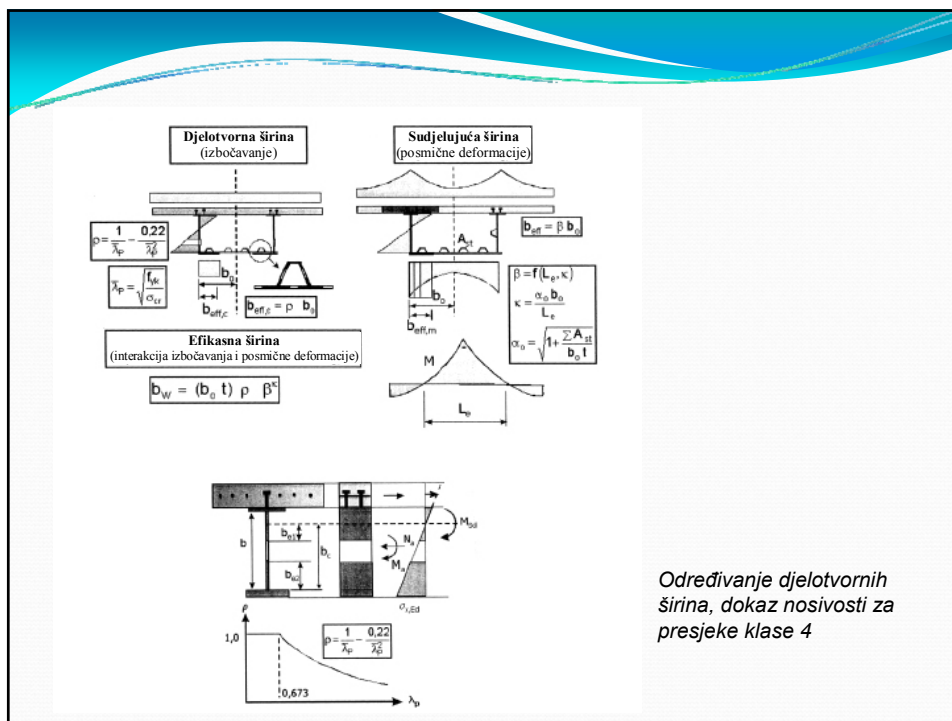
Utjecaj povijesti opterećenja (faze gradnje) uzima se u obzir, tj. naprezanja koja djeluju samo na čelični dio presjeka i naprezanja koja djeluju na spregnuti presjek superponiraju se.



Granična naprezanja za elastičnu otpornost presjeka na savijanje

3.4.1.4. Presjeci klase 4

Za presjeke klase 4 otpornost presjeka računa se uzimajući u obzir izbočavanje, sa efektivnim odnosno djelotvornim širinama temeljem redukcijskog koeficijenta ρ , koji ovisi o vitkosti lima u polju izbočavanja.



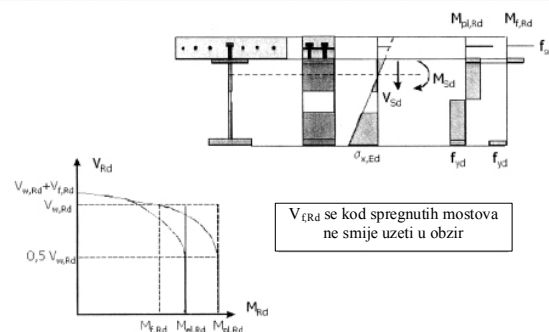
3.4.2. Poprečna sila

Granična poprečna sila određuje se na čeličnom dijelu spregnutog presjeka, sukladno odredbama propisa za čelične mostove odnosno EC 1993. Uzima se u obzir kombinirano djelovanje posmika i vlačnog polja hrpta (veličina χ_w).

Veličina χ_f , koja predstavlja povećanje posmične nosivosti uslijed pridržanja pojasa ne uzima se u obzir, zbog nedovoljnog iskustva u svezi ponašanja sljubnice sprezanja kod visoke iskoristivosti djelovanja vlačnog polja.

Osim toga kod spregnutih mostova vrijedi $\chi_w \leq 1$.

Za presjeke klase 3 i 4 mora se dokazati sljedeći interakcijski uvjet:



$$\eta_1 = \left(1 - \frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}}\right) \cdot (2\eta_2 - 1) \leq 1.0$$

sa $\eta_2 = \sigma_{s,Ed} / f_{yk}$

$$\eta_3 = V_{Ed} / V_{Rd} \quad V_{Rd} = \frac{1}{\gamma_{RE}} \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \chi_w \cdot \frac{f_{yk}}{\sqrt{3}}$$

Interakcijski uvjet

Alternativni proračunski postupak za dokaz nosivosti klase 4

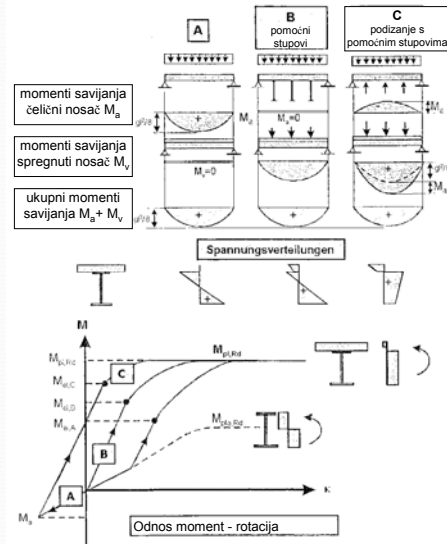
$$\frac{\sigma_{s,Ed}}{\sigma_{s,Rd}} \leq 1.0 \quad \text{sa} \quad \sigma_{s,Rd} = \eta_2 \cdot f_{yk}$$

$$\frac{f_{td}}{f_{p,Rd}} \leq 1.0 \quad \text{sa} \quad f_{p,Rd} = \eta_3 \cdot \chi_w \cdot \frac{f_{yk}}{\sqrt{3}}$$

$$\left(\frac{\sigma_{s,Ed}}{\sigma_{s,Rd}}\right)^{1+\eta_2} + \left(\frac{f_{td}}{f_{p,Rd}}\right)^{1+\eta_3} \leq 1.0$$

3.5. Proračun unutarnjih sila

- Proračunski modelom i pretpostavkama proračuna ima se obuhvatiti ponašanje konstrukcije za granično stanje nosivosti (GSN).
- U načelu se koristi proračun prema teoriji elastičnosti.
- Utjecaj popuštanja spojnih sredstava može se zanemariti, ako je provjereno sprezanje.
- Usvaja se linearni odnos moment-rotacija presjeka neovisno o razini naprezanja.
- Utjecaj povijesti opterećivanja mora se dovoljno točno obuhvatiti.



Kod nosača **A** u donjem pojasu čeličnog nosača vrlo rano se doseže granica popuštanja, zbog relativno velikih naprezanja od vlastite težine.

U nosaču **B** granica popuštanja u donjem pojasu čeličnog nosača doseže se tek za veću razinu djelovanja, jer sva opterećenja djeluju na spregnuti presjek.

U nosaču **C** ostvaruje se vlastito stanje naprezanja uslijed podizanja pomoćnih oslonaca s opterećujućim tlačnim naprezanjima u donjem pojasu. Granica popuštanja prekoračuje se tek kod vrlo velike razine djelovanja.

Izvedba betonskih kolničkih ploča danas se u pravilu izvodi betoniranjem u odsječcima.

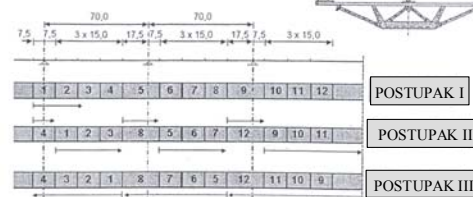
Potiskivanje spregnutih presjeka načelno nije preporučljivo, jer dovodi do neprihvatljive pojave pukotina na cijeloj duljini mosta.

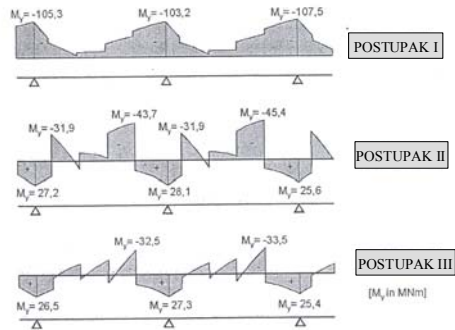
Kod proračuna unutarnjih sila mora se kod betoniranja svakog pojedinog odsječka uzeti u obzir utjecaj kontinuirane promjene krutosti.

POSTUPAK I: kontinuirano betoniranje
POSTUPAK II: na preskoke polja pa oslonci
POSTUPAK III: unatrag po poljima



Primjer uzimanja i obzir povijesti opterećivanja – različiti postupci izvedbe kolničke ploče u odsječcima



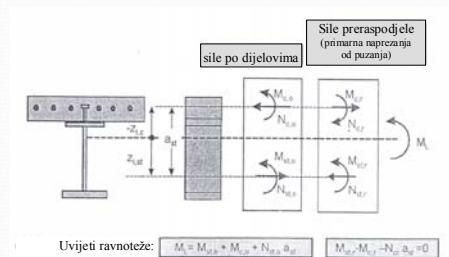


Momenti savijanja na spregnuti presjek od stalne težine kolničke ploče

Za kratkotrajna djelovanja od prometa, vjetra i temperature, kao i za stalna djelovanja kada se aktiviraju za proračun naprezanja koristi se idealni ukupni spregnuti presjek, uz uobičajene pretpostavke o ravnosti i važenju Hooke-ovog zakona.

Idealne značajke presjeka proračunavaju se svođenjem na modul elastičnosti čelika tj. s fiktivnim čeličnim presjekom, pri čemu se površina betonskog pojasa A_c i moment tromosti I_c reduciraju s faktorom redukcije.

$$n_0 = E_a / E_{cm}$$



Utjecaj puzanja na unutarnje sile po dijelovima presjeka

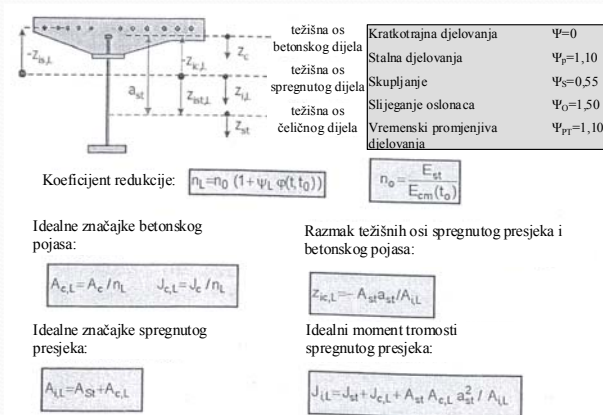
U inženjerskoj praksi se koriste dva postupka za proračun naprezanja od puzanja i skupljanja.

Prvim postupkom tzv. **postupkom unutarnjih sila po dijelovima**, se direktno proračunavaju sile preraspodjele od puzanja u dijelovima presjeka, betonu i čeliku.

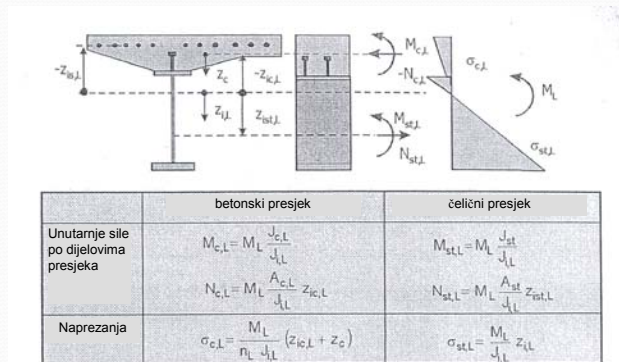
Naprezanja u dijelovima presjeka u trenutku t dobivaju se od unutarnjih sila u trenutku početka djelovanja t_0 i od sila preraspodjele uslijed puzanja.

Drugi postupak je tzv. **postupak ukupnog presjeka**, koji se u praksi najčešće koristi.

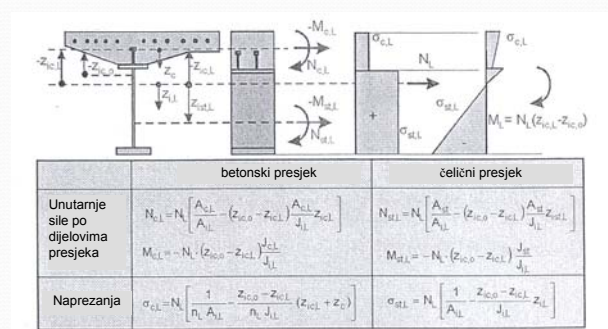
Utjecaj puzanja obuhvaćen je analogno proračunu kratkotrajnih djelovanja vremenski ovisnim redukcijskim koeficijentima n_L za površinu i moment tromosti betona. Redukcijski koeficijenti ovise o koeficijentu puzanja ϕ_t i o popravnom koeficijentu ψ_L , ovisnom o vrsti opterećenja.



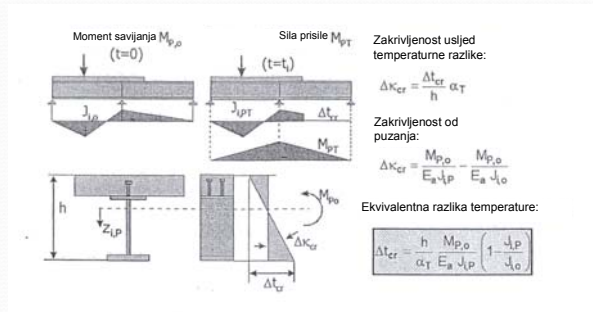
Redukcijski koeficijenti i značajke presjeka za pojednostavljeni postupak ukupnog presjeka



Unutarnje sile po dijelovima presjeka i naprezanja za djelovanje momenta savijanja

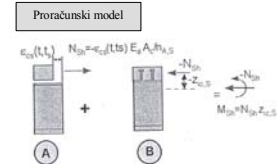
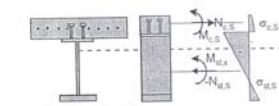


Unutarnje sile po dijelovima presjeka i naprezanja za djelovanje normalne sile



Izračun sile prisile od puzanja pomoću ekvivalentne promjene temperature

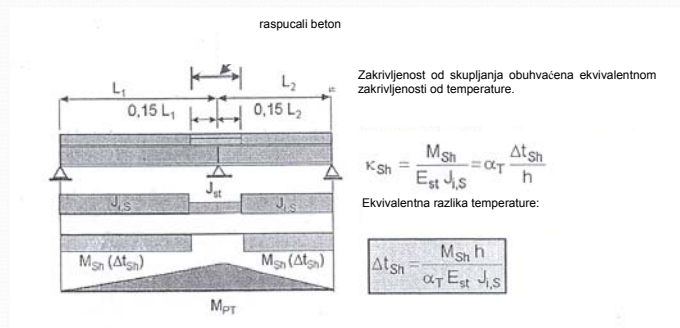
Unutarnje sile po dijelovima i naprezanja od skupljanja



Izračun primarnih naprezanja od skupljanja

	betonski presjek	čelični presjek
Unutarnje sile po dijelovima presjeka	$N_{c,0} = N_{s,0} \left(1 - \frac{A_{c,0}}{A_{s,0}} \frac{A_{c,0}}{J_{c,0}} z_{c,0} \right)$ $M_{c,0} = -N_{s,0} \frac{J_{c,0}}{J_{s,0}} z_{c,0}$	$N_{s,0} = -N_{c,0} \left(\frac{A_{c,0}}{A_{s,0}} + \frac{A_{c,0}}{J_{c,0}} z_{c,0} \right)$ $M_{s,0} = -N_{c,0} \frac{J_{s,0}}{J_{c,0}} z_{c,0}$
Naprezanja	$\sigma_{c,0} = \frac{N_{c,0}}{A_c} + \frac{N_{s,0}}{A_s} + \frac{N_{s,0}}{n_j J_{s,0}} (z_{c,0} + z_c)$	$\sigma_{s,0} = \frac{N_{s,0}}{A_s} + \frac{N_{c,0}}{J_{c,0}} z_{c,0}$

Unutarnje sile po dijelovima presjeka i naprezanja za primarno djelovanje skupljanja



Izračun sila prisile od skupljanja pomoću ekvivalentne promjene temperature

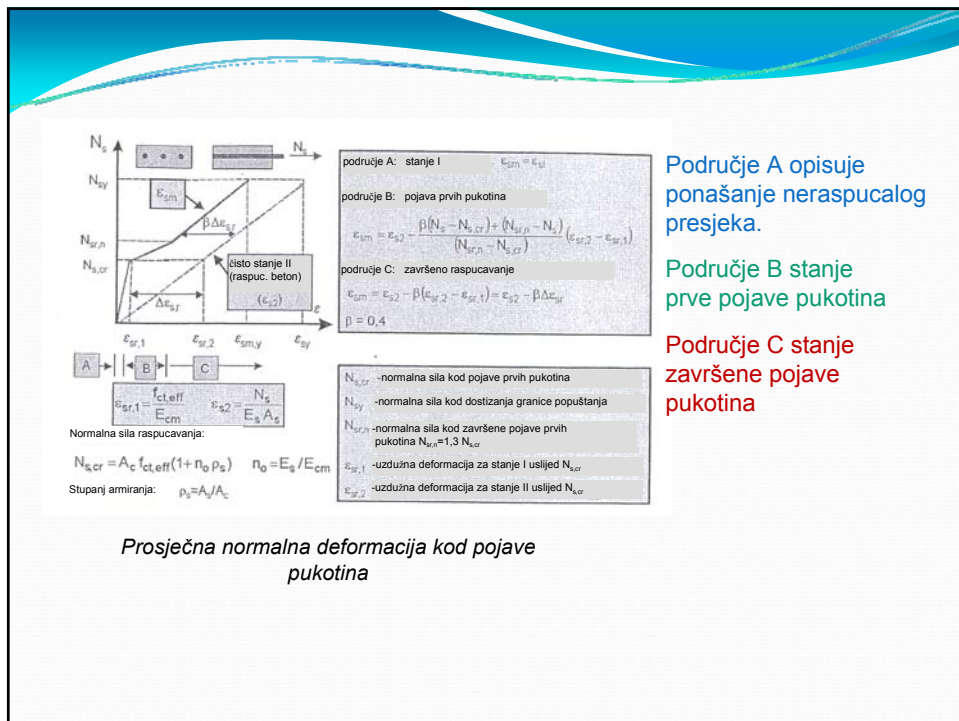
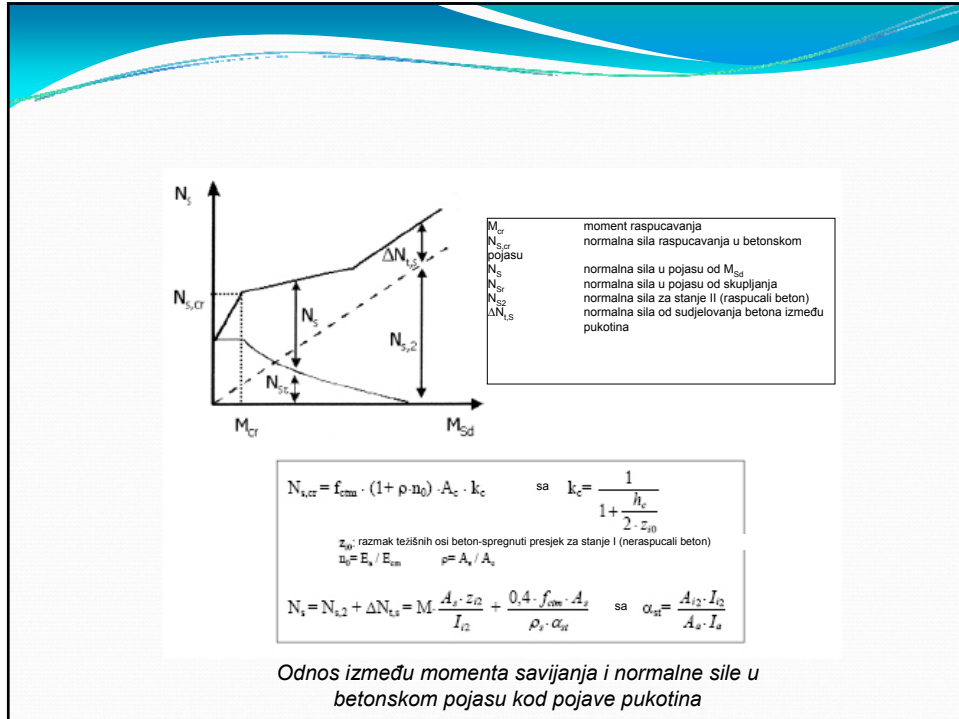
U područjima, u kojima je betonski pojas raspućao kod proračuna sekundarnih naprezanja od skupljanja primarna naprezanja se zanemaruju.

3.5.2. Utjecaj pojave pukotina u betonu

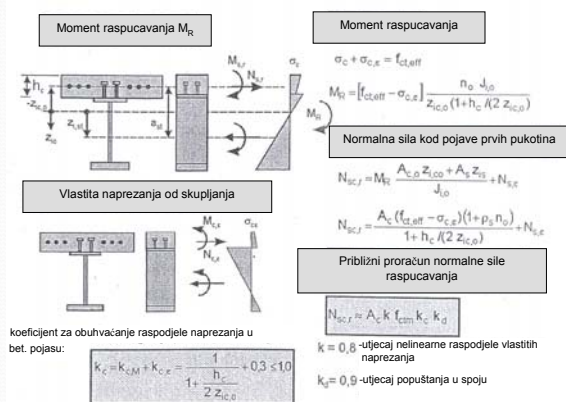
Utjecaji pojave pukotina u betonu moraju se uzeti u obzir.

U područjima u kojima je premašena vlačna čvrstoća betona pojava pukotina prouzrokuje redukciju normalne krutosti i krutosti na savijanje betonskog pojasa i time preraspodjelu unutarnjih sila po dijelovima od betonskog pojasa na čelični nosač.

Kod kontinuiranih nosača pukotine nastaju samo u području negativnih momenata savijanja u okolini srednjih oslonaca.



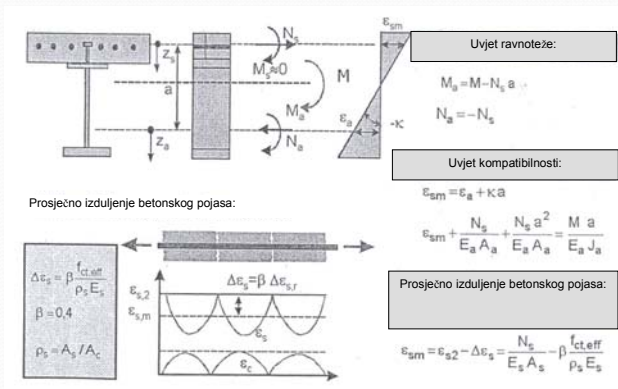
Naprezanja i sile po dijelovima presjeka od momenta raspucavanja M_R proračunavaju se s redukcijskim koeficijentima za kratkotrajna djelovanja.



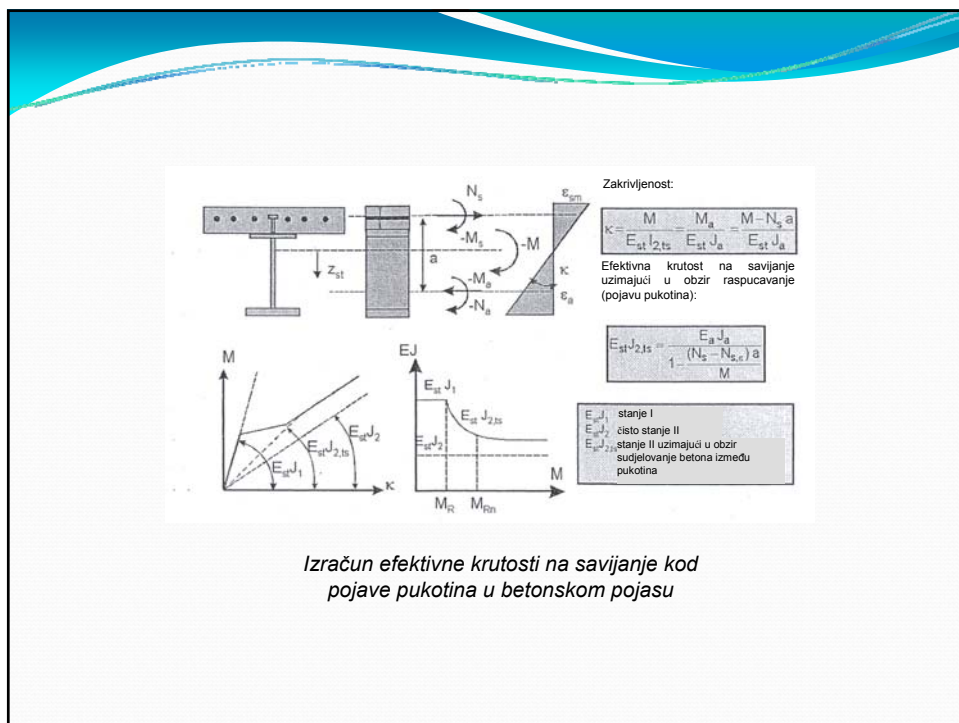
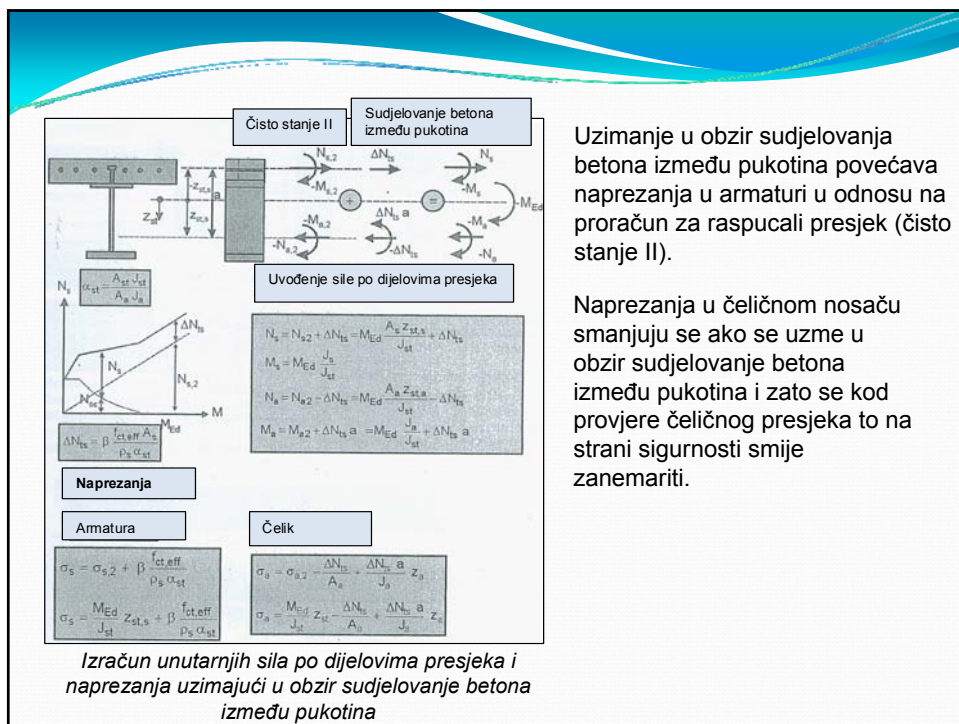
A_c površina betonskog pojasa unutar sudjelujuće širine

f_{ctm} prosječna vlačna čvrstoća betona

Moment raspucavanja i normalna sila raspucavanja betonskog pojasa



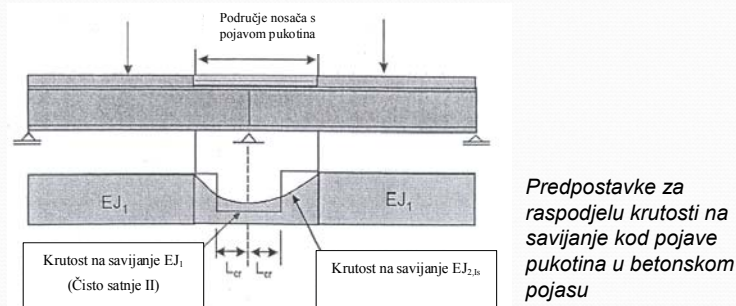
Izračun unutarnjih sila po dijelovima presjeka kod završene pojave pukotina – uvjeti ravnoteže i kompatibilnosti



Efektivna krutost na savijanje ovisi o naprezanju presjeka momentom savijanja.

Kod proračuna unutarnjih sila je zbog toga u općem slučaju neophodan iterativni proračun.

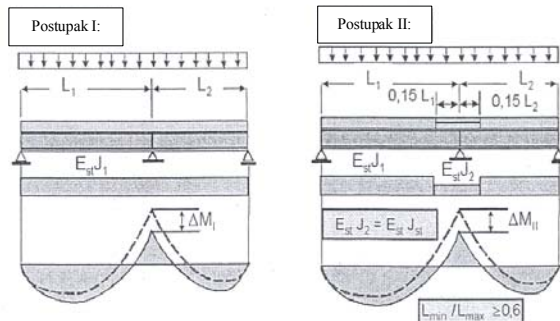
Da bi se ta teškoća izbjegla kod proračuna u inženjerskoj praksi, koriste se pojednostavnjene pretpostavke u pogledu krutosti na savijanje kod pojave pukotina.



- Utjecaj pojave pukotina približno se obuhvaća usvajanjem raspucalog presjeka (čisto stanje II) na efektivnoj duljini L_{cr} .
- Ta duljina određena je iz uvjeta da se kod nelinearnog proračuna s krutosti na savijanje $E I_{2,ts}$ odprilike ostvare jednake preraspodjele momenta savijanja kao kod elastičnog proračuna s krutosti na savijanje za čisto stanje II.
- Kao kriterij za određivanje duljine L_{cr} koristi se rubno naprezanje betona za nečestu kombinaciju djelovanja.

Za uzimanje obzir pojave pukotina kod proračuna unutarnjih sila daju se tri različita postupka I, II i III.

Kod proračuna unutarnjih sila dijelova presjeka razlikuju se tri stanja, stanje I (neraspucali presjek), stanje pojave prvih pukotina i stanje kod završenog procesa otvaranja pukotina.



Izračun unutarnjih sila prema postupcima I i II

Postupak I:

Negativni momenti savijanja nad srednjim osloncima, koji djeluju na spregnuti presjek smiju se umanjiti za najviše 10% uz zadovoljenje uvjeta ravnoteže, ako su unutarnje sile određene temeljem krutosti neraspucalih presjeka.

Postupak II:

Za mostove bez primjene mjera prednapinjanja bilo kabelima bilo regulacijom oslonaca utjecaj pojave pukotina može se obuhvatiti usvajanjem krutosti na savijanje $E_a J_2$ na 15% duljine susjednih polja jednog srednjeg oslonca.

U ostalim dijelovima nosača koristi se krutost na savijanje neraspucalog presjeka $E_a J_1$.

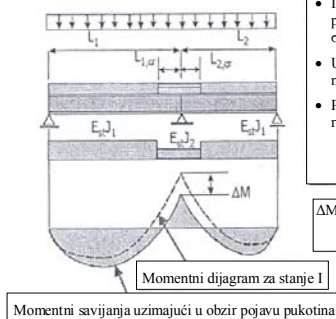
Postupak III:

Kod općenito primjenjivog postupka III prvo se određuju područja u kojima beton raspucava L_{cr} , usvajanjem krutosti neraspucalog presjeka za ne-čestu kombinaciju djelovanja, uzimajući u obzir reologiju betona.

U područjima gdje su rubna vlačna naprezanja u betonu za glavni nosivi sustav veća od 1,3 puta vrijednosti vlačne čvrstoće betona $f_{ctk,0.95}$ (95% fraktila), usvaja se krutost na savijanje $E_a J_2$.

Postupak III:

$E_{s1}I_1$ krutost na savijanje – stanje I
 $E_{s1}I_2$ krutost na savijanje – stanje II



- Proračun unutarnjih sila za stanje I za nečestu kombinaciju
- Izračun raspućih područja nosača L_{cr} pomoću rubnog naprežanja u betonu $\sigma_r = 1,3f_{ct,95}$
- Uvrštavanje EI_2 u raspućim dijelovima nosača
- Proračun unutarnjih sila s novom raspodjelom krutosti

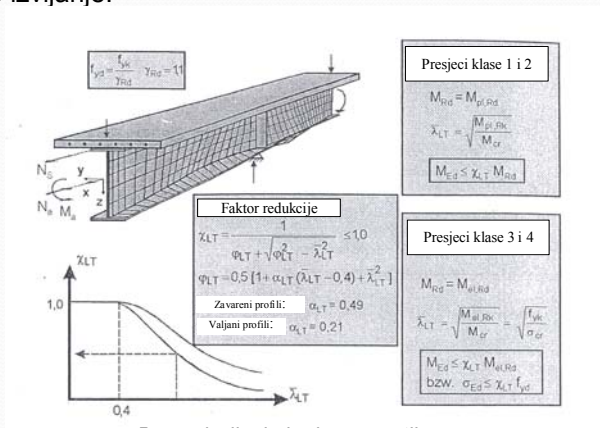
ΔM moment preraspodjele uslijed pojave pukotina

$$E_{s1}I_2 = E_{s1}I_{d1}$$

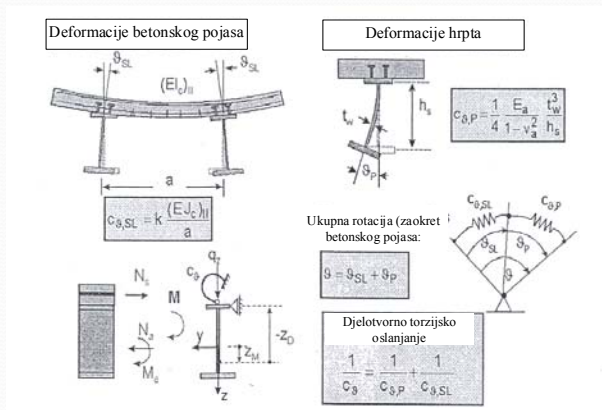
Izračun unutarnjih sila postupkom III

3.6. Bočno izvijanje

U području srednjih oslonaca kontinuiranih nosača treba dokazati dostatnu sigurnost na postrano deformiranje donjeg pojasa tj. na bočno izvijanje.



Bočno izvijanje kod spregnutih nosača – provedba provjere



Određivanje elastičnog torzijskog oslanjanja

Dokaz se provodi, kako slijedi:

- Klase 1 i 2 : $M_{Sd} = \chi_{LT} M_{pl,Rd}$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{(M_{pl,Rk} / M_{cr})}$$

$M_{pl,Rk}$ plastični granični moment spregnutog poprečnog presjeka za karakteristična svojstva gradiva $\gamma_a = \gamma_c = \gamma_s = 1,0$

M_{cr} idealni moment bočnog izvijanja spregnutog presjeka

- Klase 3 i 4 : $M_{Sd} = \chi_{LT} M_{el,Rd}$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{(M_{el,Rk} / M_{cr})}$$

Provjera nije potrebna ako je $\lambda_{LT} \leq 0,4$

Redukcijski faktor $\chi_{LT} = f(\lambda_{LT})$; za valjane profile vrijedi krivulja izvijanja a , a za zavarene profile krivulja izvijanja c.

Proračun idealnog momenta bočnog izvijanja spregnutog presjeka M_{cr}

Mora se uzeti u obzir utjecaj pukotina u betonskoj ploči i krivljenje hrpta.

Određivanje „djelotvornog rotacijskog oslanjanja“

$$\frac{1}{c_{\theta}} = \frac{1}{c_{\theta,p}} + \frac{1}{c_{\theta,SL}}$$

Dio rotacijsko oslanjanje uslijed krivljenja profila:

$$c_{\theta,p} = \frac{E_s \cdot t_v^3}{4 \cdot (1 - \nu_s^2) \cdot h_w}$$

Dio rotacijsko oslanjanje od krutosti na savijanje raspucale betonske ploče:

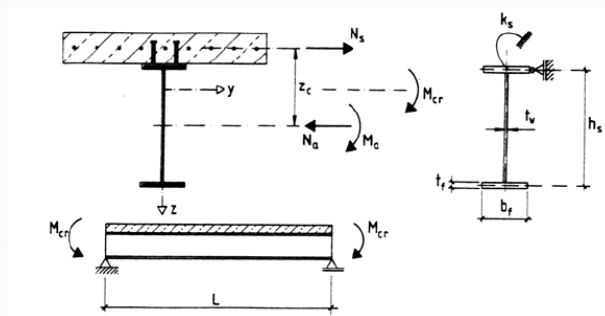
$$c_{\theta,SL} = k \cdot \frac{(E_{cm} \cdot I_c)''}{a}$$

$$(E_{cm} I_c)'' \approx 6,5 E_a I_c \rho \quad I_c = b h_c^3 / 12 \quad \rho = A_s / b h_c$$

a raspon betonske ploče

$k=2$... ploča preko jednog raspona,

$k=4$... kontinuirana ploča preko više raspona;

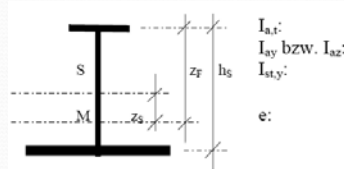


Zamjenski sustav za proračun idealnog momenta bočnog izvijanja

Približni izračun idealnog momenta bočnog izvijanja za štap s rubnim momentima:

$$M_{cr} = \frac{k_c \cdot C_d}{L} \cdot \sqrt{G \cdot I_{ot} + c_{\theta} \cdot \frac{L^2}{\pi^2}} \cdot E_a \cdot I_{afz}$$

$$k_c = \left[\frac{h_s}{(z_F - z_s)^2 + i_x^2 + 2 \cdot (z_F - z_j)} \right] \cdot \frac{I_{st,y}}{I_{a,y}}$$



$I_{a,t}$: torzijski moment tromosti čeličnog presjeka
 I_{ay} odnosno I_{az} : moment tromosti čeličnog presjeka
 $I_{st,y}$: moment tromosti armature

planski ekcentricitet:

$$e = \frac{A \cdot I_{ay}}{A_a \cdot z_c \cdot (A - A_a)}$$

I_{afz} : moment tromosti tlačnog pojasa oko z-osi

i_x : polarni radijus tromosti

$$i_x = \sqrt{\frac{I_{az} + I_{ay}}{A_a}}$$

System	Momentenverlauf	$C_4 (\psi)$									
		$\psi=0.50$	$\psi=0.75$	$\psi=1.00$	$\psi=1.25$	$\psi=1.50$	$\psi=1.75$	$\psi=2.00$	$\psi=2.25$	$\psi=2.50$	
		41.5	30.2	24.5	21.1	19.0	17.5	16.5	15.7	15.2	
		33.9	22.7	17.3	14.1	13.0	12.0	11.4	10.9	10.6	
		28.2	18.0	13.7	11.7	10.6	10.0	9.5	9.1	8.9	
		21.9	13.9	11.0	9.6	8.8	8.3	8.0	7.8	7.6	
		28.4	21.8	18.6	16.7	15.5	14.8	14.2	13.8	13.5	
		12.7	9.8	8.6	8.0	7.7	7.4	7.2	7.1	7.0	

C_4 – vrijednosti za proračun M_{cr}

3.7. Vlačno naprezani konstrukcijski elementi

3.7.1 Beton u vlaku

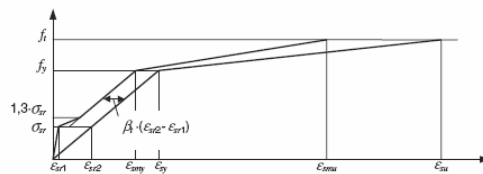
Za izračun naprezanja za granična stanja nosivosti (GSN), uporabe (GSU) i zamora mora se uzeti u obzir sudjelovanje betona između pukotina.

Proračunska veličina normalne sile iznosi $N_{Ed} = N_{si} + 0,3 N_{s,cr}$

N_{si} normalna sila za mjerodavnu kombinaciju djelovanja

$N_{s,cr}$ normalna sila kod prve pojave pukotina za efektivnu krutost

$$f_{ct,eff} = 0,7 f_{ctm}$$



Sudjelovanje betona na vlak između pukotina

Razlikuju se četiri područja a, b, c, i d ovisno o stvarnim naprežanjima u armaturi:

a) neraspucali beton ($0 \leq \sigma_s \leq \sigma_{sr}$) $\epsilon_{sm} = \epsilon_{s1}$

b) otvaranje pukotina ($\sigma_{sr} \leq \sigma_s \leq 1,3 \sigma_{sr}$)

$$\epsilon_{sm} = \epsilon_{s2} - \left(\frac{\beta_t \cdot (\sigma_s - \sigma_{sr}) + (1,3 \cdot \sigma_{sr} - \sigma_s)}{0,3 \cdot \sigma_{sr}} \right) \cdot (\epsilon_{sr2} - \epsilon_{sr1})$$

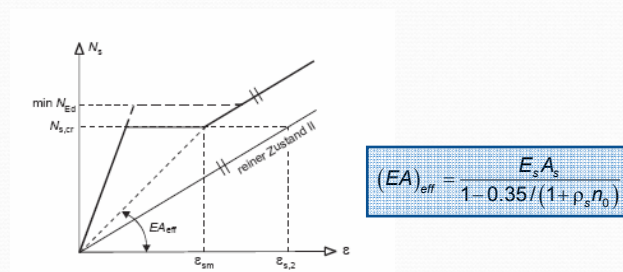
c) završen proces otvaranja pukotina ($1,3 \sigma_{sr} \leq \sigma_s \leq f_y$) $\epsilon_{sm} = \epsilon_{s2} - \beta_t (\epsilon_{sr2} - \epsilon_{sr1})$

d) tečenje čelika ($f_y \leq \sigma_s \leq f_t$)

$$\epsilon_{sm} = \epsilon_{sy} - \beta_t (\epsilon_{sr2} - \epsilon_{sr1}) + \delta (1 - \sigma_{sr} / f_y) (\epsilon_{s2} - \epsilon_{sy})$$

- ε_{sm} prosječno izduženje armature
- ε_{su} izduženje armature za najveće opterećenje = 0,025
- ε_{s1} izduženje armature u neraspucalom stanju
- ε_{s2} izduženje armature u raspucalom stanju u pukotini
- ε_{sr1} izduženje armature u neraspucalom stanju za opterećenje koje izaziva pukotine kod dosizanja vlačne čvrstoće betona f_{ctm}
- ε_{sr2} izduženje armature u pukotini za opterećenje koje izaziva pukotine
- β_t koeficijent za uzimanje u obzir utjecaja trajanja opterećenja ili ponovnog opterećenja na prosječno izduženje
 - = 0,40 za pojedinačno kratkotrajno opterećenje
 - = 0,25 za trajno opterećenje ili česte promjene opterećenja
- σ_s naprezanje u vlačnoj armaturi proračunato za raspucali presjek (naprezanje u pukotini)
- σ_{sr} naprezanje u vlačnoj armaturi proračunato za raspucali presjek za kombinaciju opterećenja koja uzrokuje pojavu prvih pukotina
- $\bar{\sigma}$ koeficijent za uzimanje u obzir duktilnosti armature
 - = 0,80 za čelik visoke duktilnosti
 - = 0,60 za čelik normalne duktilnosti

Alternativno za približni izračun sudjelovanja betona između pukotina mogu se koristiti odnosi sa nastavno prikazane slike.



Za granično stanje nosivosti (GSN) minimalna vrijednost proračunske normalne sile iznosi:

$$\min N_{Ed} = 1,45 A_c f_{ct,eff} (1 + \rho_s n_0)$$

A_c površina betona u vlaku; ρ_s koeficijent armiranja; $f_{ct,eff} = 0,7 f_{ctm}$

3.7.2. Spregnuti konstrukcijski elementi u vlaku

Za granično stanje nosivosti (GSN) dimenzioniranje na savijanje i vlak provodi se uz zanemarenje vlačne čvrstoće betona.

Utjecaj sudjelovanja betona između pukotina smije se zanemariti ako su unutarnje sile armiranog betonskog presjeka proračunate s statičkim značajkama neraspucalog presjeka, a unutarnje sile čeličnog dijela presjeka s zanemarenjem betona.

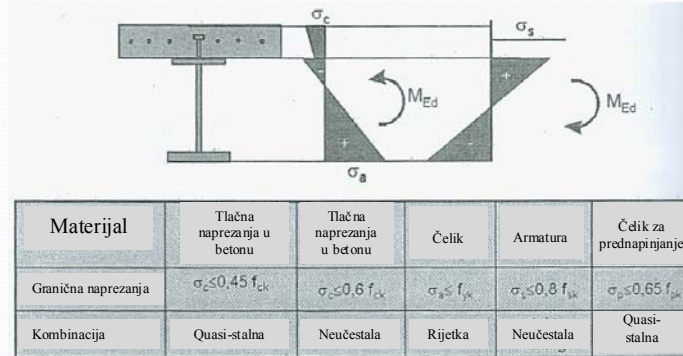
4. Granična stanja uporabe (GSU)

- Za granično stanje uporabljivosti (GSU) potrebno je provesti sljedeće dokaze:
 - dokazi naprezanja
 - dokazi minimalne armature i ograničenja pukotina
 - dokazi protiv disanja hrpta
 - dokazi deformacija
 - dokazi vibracija

4.1. Dokazi naprezanja

Unutarnje sile i naprezanja proračunavaju se elastičnim računskim postupcima.

Naprezanja u betonu ograničuju se za sprečavanje prevelikih deformacija od puzanja ili stvaranja mikro-pukotina.



Ograničenje naprezanja i kombinacije djelovanja

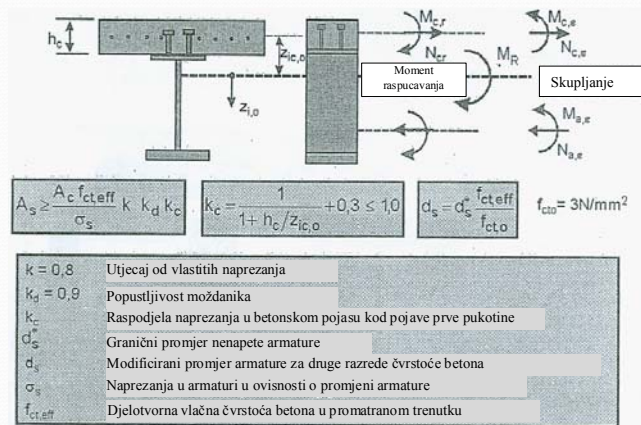
4.2. Dokaz sigurnosti na disanje hrpta

Dokaz je potreban samo za presjeke klase 4, ako su proračunati pomoću efektivnih širina.

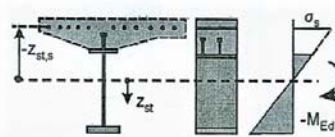
4.3. Minimalna armatura i ograničenje pukotina

U područjima nosača u kojima za nečestu kombinaciju djelovanja nastaju vlačna naprezanja kod mostova s nenapetom armaturom, odnosno tlačna naprezanja manja od 1 Mpa kod mostova prednapetih kabelima, potrebno je izvršiti provjeru ograničenja pukotina.

Za pojaseve spregnutih nosača u načelu se zahtijeva ograničenje pukotina na računsku vrijednost $w_k = 0,2 \text{ mm}$.



Izračun minimalne armature



Naprezanje u armaturi uzimajući u obzir sudjelovanje betona između pukotina.

$$\sigma_s = \sigma_{s,2} + \Delta \sigma_{ts}$$

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{J_{st}} z_{st,s} + \beta \frac{f_{ct,eff}}{\rho_s \alpha_{st}}$$

$$\rho_s = \frac{A_s}{A_c}$$

$$\alpha_{st} = \frac{A_{st} J_{st}}{A_a J_a}$$

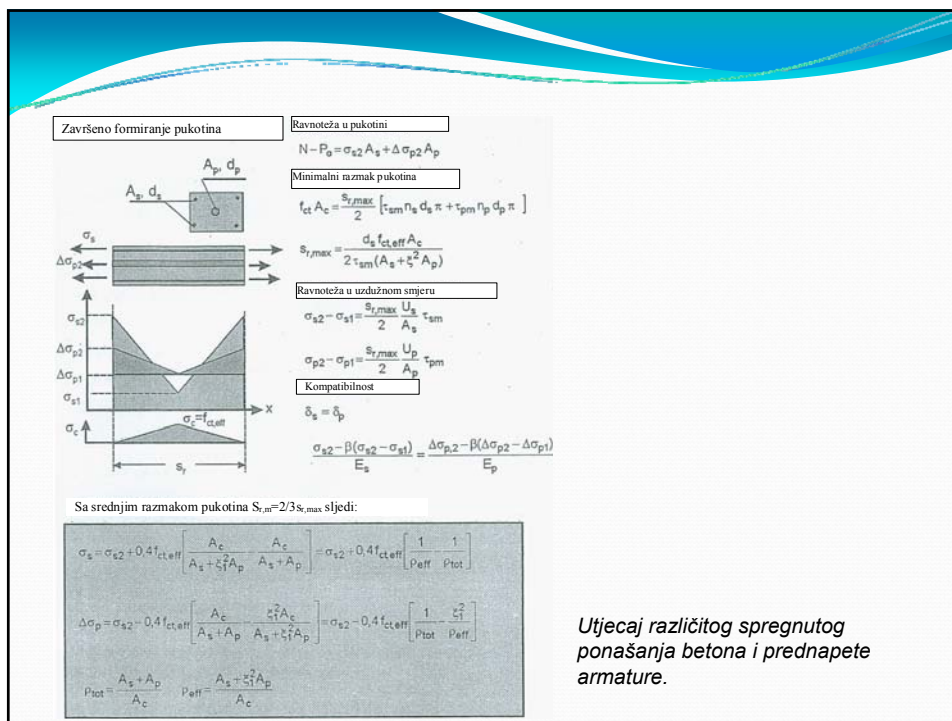
$$\beta = 0.4$$

Postotak armiranja

M_{Ed} Moment savijanja za mjerodavnu kombinaciju

	Grenzdurchmesser	Grenzabstand
σ_s [N/mm ²]	d_s^* (mm) $w_k = 0.2$	s_s (mm) $w_k = 0.2$
160	28	200
200	18	150
240	13	100
280	9	-
320	7	-
360	6	-
400	5	-
450	4	-

Dokaz širine pukotina kod završenog procesa otvaranja pukotina



4.4. Progibi i deformacije

Proračun deformacija provodi se elastičnim proračunom za mjerodavna djelovanja uz uzimanje u obzir sudjelujućih širina.

Za definiranje nadvišenja koristi se quasi-stalna kombinacija djelovanja. Kod željezničkih mostova quasi-stalna prometna djelovanja kod proračuna nadvišenja uzimaju se s $\psi_2 = 0,20$.

5. Osiguranje sprezanja

Prijanjanje betona na čelik ne smije se uzeti u obzir.

Djelomično sprezanje s planskim iskorištenjem popuštanja u spoju (sljubnici) kod spregnutih mostova nije dopušteno.

5.1. Granično stanje uporabljivosti (GSU)

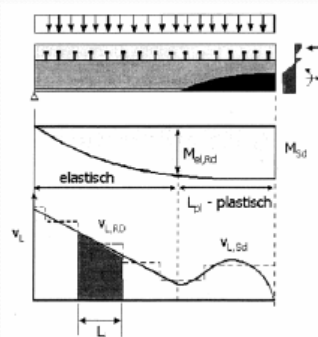
Proračunska vrijednost nosivosti moždanika za GSU iznosi $0,60 P_{Rd}$.

Dokaz na umornost za čepaste moždanike kod sprezanja glavnih nosača nije potrebno provesti ako su uzdužne posmične sile proračunate za stanje I (neraspucali beton) i ako je proračunska vrijednost nosivosti moždanika smanjena na $0,30 P_{Rd}$.

5.2 Proračun uzdužnih posmičnih sila

Uzdužne posmične sile u spoju proračunavaju se u pravilu elastično.

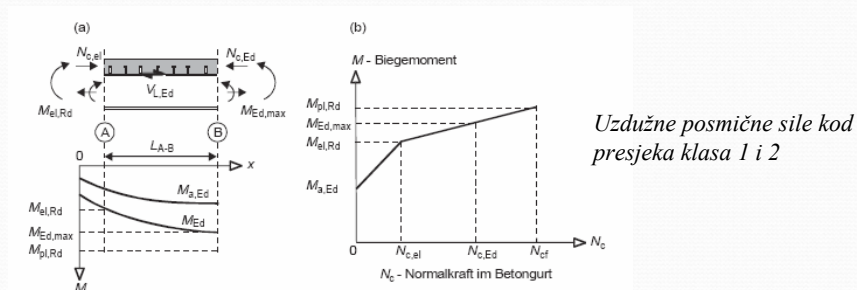
Ako se uzima u obzir raspucavanje betona, mora se računati i s sudjelovanjem betona između pukotina.



$$V_{L,Sd} \leq V_{L,Rd}$$

*Dokaz uzdužnih posmičnih
sila u spoju čelik-beton*

Ako je kod presjeka klase 1 i 2 proračunska vrijednost momenta savijanja M_{Ed} veća od elastičnog graničnog momenta $M_{el,Rd}$, u područjima nosača gdje je to slučaj, ima se uzeti u obzir nelinearni odnos između poprečne sile V_{Ed} i uzdužne posmične sile $v_{L,Ed}$. Za pozitivne momente savijanja (beton u tlaku), uzimajući u obzir nelinearno ponašanje, resultantna uzdužna posmična sila $V_{L,Ed}$ u području L_{A-B} .



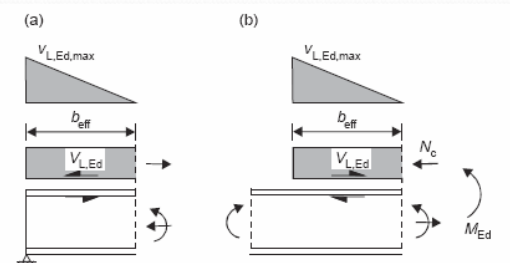
Moždanici se u tom području stavljaju na jednakom razmaku.

Ako je proračunski moment savijanja $M_{Ed,max}$ manji od punog plastičnog graničnog momenta $M_{pl,Rd}$ normalna sila u betonskom pojasu definirana je izrazom:

$$N_{c,Ed} = N_{c,el} + \frac{M_{Ed,max} - M_{el,Rd}}{M_{pl,Rd} - M_{el,Rd}} (N_{cf} - N_{c,el}) \text{ za } M_{el,Rd} < M_{Ed,max} \leq M_{pl,Rd}$$

- $M_{el,Rd}$ i $M_{pl,Rd}$ elastični i puni plastični granični moment presjeka
- $N_{c,el}$ normalna sila u betonskom pojasu kod dosizanja elastičnog graničnog momenta
- $N_{c,f}$ normalna sila u betonskom pojasu kod dosizanja punog plastičnog graničnog momenta $M_{pl,Rd}$
- $N_{c,Ed}$ proračunska vrijednost normalne sile u betonskom pojasu uslijed momenta savijanja $M_{Ed,max}$

Maksimalna vrijednost uzdužne posmične sile $v_{L,Ed,max}$ iznosi $v_{L,Ed,max} = 2 V_{L,Ed} / b_{eff}$, kod čega je b_{eff} sudjelujuća širina betonskog pojasa.



Raspodjela uzdužnih posmičnih sila od primarnih naprezanja na krajevima nosača (a) kao i uslijed naprezanja normalnom silom i momentom savijanja na krajevima odsječaka betoniranja (b)

5.3. Nosivost čepastih moždanika

Granična posmična sila jednog čepastog moždanika dobija se kao manja vrijednost od:

$$P_{Rd} = 0,8 f_u (\pi d^2 / 4) 1 / \gamma_v$$

$$P_{Rd} = 0,25 \alpha d^2 \sqrt{ (f_{ck} E_{cm}) } 1 / \gamma_v$$

d promjer tijela moždanika

f_u specificirana vlačna čvrstoća materijala moždanika, ali najviše 450 Mpa

f_{ck} karakteristična vrijednost cilindrične tlačne čvrstoće betona odgovarajuće starosti

E_{cm} nazivna vrijednost sekantnog modula elastičnosti betona

$\alpha = 0,2 ((h / d) + 1)$ za $3 \leq h / d \leq 4$

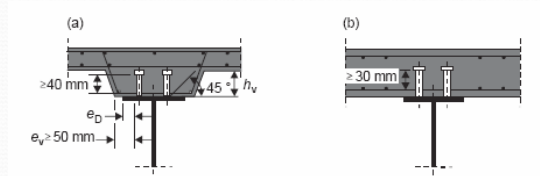
$\alpha = 1,0$ za $h / d > 4$

h ukupna visina moždanika nakon zavarivanja

$\gamma_v = 1,25$ parcijalni koeficijent sigurnosti za GSN

5.4. Konstruktivno oblikovanje sprezanja čepastim moždanicima

Visina moždanika mora biti veća od $3x$ promjer tijela moždanika.
Ako moždanici nisu smješteni direktno iznad hrpta čeličnog profila, promjer moždanika ne smije biti veći od $2,5$ vrijednost debljine čeličnog pojasa.

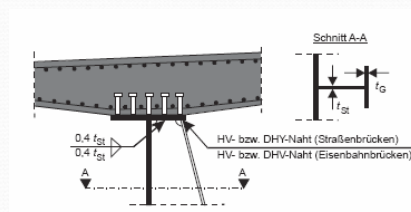


Minimalne izmjere vuta i položaj armature za sidrenje protiv odizanja

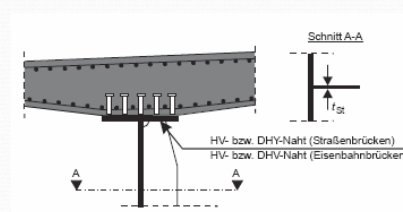
Osni razmak moždanika u smjeru uzdužne posmične sile ne smije biti manji od $5d$.

Najveći razmak moždanika u uzdužnom smjeru ne smije biti veći od $4x$ debljina betonske ploče odnosno ne veći od 800 mm.

Razmak e_D između vanjskog ruba moždanika i ruba čeličnog pojasa ne smije biti manji od 25 mm.



Konstruktivno minimalno oblikovanje kod poprečnih okvira

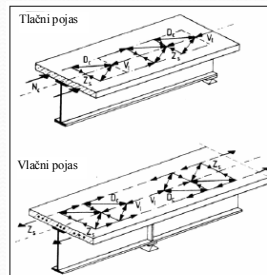


Konstruktivno minimalno oblikovanje kod poprečnih ukruta

5.5. Nosivost betonskog pojasa na uzdužni posmik

Poprečna armatura i betonski pojas dimenzioniraju se za GSN tako da je prijevremeno odkazivanje uslijed uzdužnog posmika i lokalnog uvođenja opterećenja izbjegnuto.

Potrebna poprečna armatura određuje se prikladnim rešetkastim modelima, ovisnim o tome da li je betonska ploča u vlaku ili tlaku.



Rešetkasti modeli za određivanje poprečne armature od posmičnih sila

Proračunske vrijednosti nosivosti na posmik u pojedinom presjeku proračunavaju se, kako slijedi:

$V_{Rd,1}$: proračunska vrijednost nosivosti na posmik kod sloma tlačnih dijagonala

$$V_{Rd,1} = 0,2 A_{cv} \eta f_{cd}$$

A_{cv} : pripadna površina betona u presjeku ploče

$\eta = 1,0$ za normalni beton

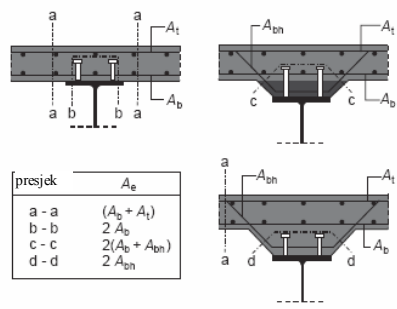
$V_{Rd,2}$: proračunska vrijednost nosivosti na posmik poprečne armature

$$V_{Rd,2} = V_{cd} + A_s f_{cd}$$

A_s : površina armature u promatranom presjeku ploče

V_{cd} : nosivost betona na posmik

$$V_{cd} = 2,5 A_{cv} \eta \tau_{Rd}$$



Osnovna vrijednost čvrstoće na posmik:

$$\tau_{Rd} = \begin{matrix} 0,34 \text{ MPa (C30/37)} \\ 0,37 \text{ MPa (C35/45)} \\ 0,41 \text{ MPa (C40/50)} \\ 0,44 \text{ MPa (C45/55)} \end{matrix}$$

Tipični presjeci kod odkazivanja betonskog pojasa od uzdužnog posmika

Razmak između slobodnog ruba i osi najbližeg moždanika ne smije biti manja od 6xpromjer tijela moždanika.

6. Spregnute betonske ploče

6.1 Općenito

Spregnute ploče sastoje se od ravnih limova sa navarenim moždanicama i betona izvedenog *in situ*.

Čelični lim kod betoniranja mora biti pridržan ukrutama, tako da progib ne bude veći od 5% debljine ploče.

Dimenzioniranje za globalna djelovanja

Spregnuta ploča se dimenzionira tako da je osigurana dovoljna nosivost za normalne sile i momente savijanja od globalnog djelovanja, kao i od poprečnog savijanja.

Kod tlačnih naprezanja proračunska nosivost dobiva se kao zbroj nosivosti betonskog pojasa i čeličnog lima unutar sudjelujuće širine ako je sprezanje odgovarajuće izvedeno.

Kod vlačnih naprezanja proračunska nosivost dobiva se kao zbroj nosivosti čeličnog lima i armature unutar sudjelujuće širine.

Dokaz stabilnosti tlačno opterećene pojasnice nije potrebno provesti ako granične vrijednosti razmaka moždanika, navedene u tablici nisu prekoračene.

Smjer tlačnih naprezanja	Oslanjanje pojasa	Klasa 2	Klasa 3
Okomito na smjer tlačnih naprezanja	Jednostrano oslonjen pojas	14 t ε	20 t ε
	Obostrano oslonjen pojas	45 t ε	50 t ε
U smjeru tlačnih naprezanja	Jednostrano i obostrano oslonjen pojas	22 t ε	25 t ε
$\epsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$ mit f_y in [N/mm ²] t debljina lamela			

Dimenzioniranje spojnih sredstava

Ako je čelični lim uračunat kao armatura, razmak moždanika u oba smjera se smije biti veći od trostruke debljine betonskog pojasa. Za granično stanje uporabljivosti kod nosača sa širokim pojasevima utjecaji posmičnog popuštanja spregnutog pojasa i popuštanja u spoju na uzdužne posmične sile od globalnog djelovanja uzimaju se u obzir kako slijedi.

Na jedan moždanik na razmaku x od bližeg hrpta djeluje uzdužna posmična sila P_{Ed} definirana izrazom :

$$P_{Ed} = \frac{v_{L,Ed}}{n_{tot}} \left[\left(3,85 \left(\frac{n_w}{n_{tot}} \right)^{-0,17} - 3 \right) \left(1 - \frac{x}{b} \right)^2 + 0,15 \right]$$

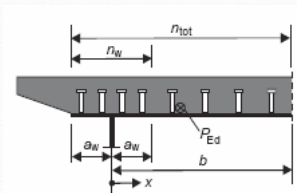
$v_{L,Ed}$ proračunska uzdužna posmična sila na jedinicu duljine u spoju uslijed globalnog djelovanja.

n_{tot} ukupan broj moždanika jednake veličine na jedinicu duljine unutar širine b .

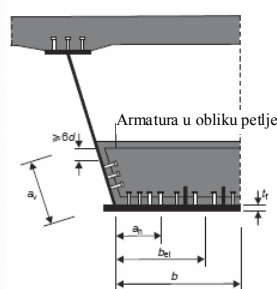
n_w broj moždanika na jedinicu duljine unutar razmaka a_w od hrpta prema.

b pola razmaka susjednih hrptova ili razmak od hrpta do slobodnog ruba pojasa.

Razmak moždanika treba odabrati dovoljno malim, da se spriječi lokalno izbočavanje lima.



Definicije oznaka u jednađbi



Raspodjela moždanika kod presjeka s dvostrukim sprežanjem – oznake

7. Kolničke ploče s predgotovljenim dijelovima

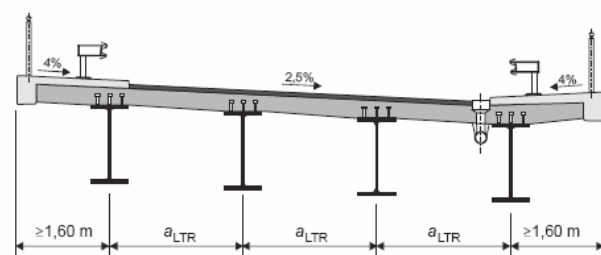
Za djelomično predgotovljene ploče u kombinaciji s betonom izvedenim na licu mjesta vrijede dalje navedena pravila.

- Debljina betona izvedenog na licu mjesta mora iznositi najmanje 20 cm u području kolnika i najmanje 15 cm u području hodnika.
- Sljubnice između predgotovljenih elemenata imaju se oblikovati tako da je osiguran zaštitni sloj *nom c* prema propisima za betonske mostove.
- Za predgotovljene elemente mora se provesti dokaz ograničenja pukotina i kada su predviđene kao nenosive i sudjeluju samo između sljubnica. Istosmjerna naprezanja od betoniranja se pri tome superponiraju.
- Čisti razmak između moždanika i predgotovljenih elemenata u području sljubnica i štednih otvora mora biti najmanje 25 cm.

8. Pravila projektiranja za rasponske sklopove cestovnih mostova sa glavnim nosačima na malom razmaku i/ili betonskim poprečnim nosačima nad osloncima

Spregnuti sklopovi sa uzdužnim nosačima na malom razmaku preporučljivo su rješenje za rasponske sklopove cestovnih mostova manjih raspona.

Uzdužni
sanduč



Primjer jednog presjeka s uzdužnim nosačima na malom razmaku

Kod projektiranja i izvedbe treba se pridržavati sljedećih pravila:

- razmak uzdužnih nosača zbog održavanja ne manji od 2,4 m; kod djelomično predgotovljenih ploča $a_{LTR} \leq 3$ m,
- prepust do vanjskog ruba grede vijenca mora iznositi najmanje 1,6 m,
- nosači i kolnička ploča trebaju biti tako projektirani, da se izbjegnu poprečni nosači u poljima,
- poprečni nosači u osi ležajeva mogu se izvesti u u betonu,
- za smanjenje broja ležajeva po mogućnosti primijeniti indirektno oslanjanje,
- ako se netočnost kod ugradbe ležajeva ne može isključiti konstruktivnim mjerama, potrebno je kod dimenzioniranja uključiti i slučaj opterećenja $\Delta s_{ležaj} = \pm 3,0$ mm u najnepovoljnjoj kombinaciji za granična stanja nosivosti i uporabe.

Kod projektiranja rasponskih sklopova s poprečnim nosačima od betona nad ležajevima minimalne širine betonskih poprečnih nosača iznose:

- upornjaci: indirektno oslanjanje 0,80 m; direktno oslanjanje 0,60 m
- stupovi: 0,90 m

Tri različite varijante betonskih poprečnih nosača A-C

